

Kleine Holzvergaser

Ein Bericht aus der Praxis mit Tipps zum Selbstbau

www.imtreibhaus.de
Ulrich Graf, Bremen 2007

Kleine Holzvergaser

Ein Bericht aus der Praxis mit Tipps zum Selbstbau

Vorwort: Für wen ist dieses Themenheft?

Der allmähliche, kaum noch aufzuhaltende Klimawandel, aber auch die absehbare Erschöpfung der fossilen Energieträger zwingt zur raschen Einführung anderer Formen der Energieversorgung. Noch ist nicht eindeutig geklärt, welche Techniken der Energieumwandlung in Zukunft dominieren werden. Während heute noch etwa neunzig Prozent des globalen Bedarfs an Elektrizität, Treibstoff und Wärme aus den fossilen Energieträgern Kohle, Erdöl und Erdgas gedeckt werden, werden noch in diesem Jahrhundert die erneuerbaren Energien diese Aufgabe übernehmen müssen. Die Kernenergie kann angesichts begrenzter Ressourcen an spaltbarem Uran und der schwer lösbaren Endlagerung nicht wesentlich zur Energieversorgung der Weltbevölkerung beitragen, und völlig neue Technologien wie z.B. die Kernfusion lassen noch nicht erkennen, ob sie jemals mit vertretbarem Aufwand nutzbar sein werden.

Die Erzeugung gasförmiger Treibstoffe aus Holz und holzähnlicher Biomasse in Gasgeneratoren (Holzvergasern) ist nur eine von vielen bekannten Technologien der Energiegewinnung aus nachwachsenden Rohstoffen. Die Vorgänge bei der Vergasung sind aber die Grundlage vieler verwandter thermochemischer Prozesse – vom Verbrennungsvorgang im Ofen bis zur Synthese von Benzin aus Pflanzenmaterial – und deshalb von allgemeinem Interesse.

Wenn in dem hier vorliegenden Themenheft kleine Holzvergaser-Motoreinheiten beschrieben werden, so darf das nicht missverstanden werden als Vorschlag zur Lösung unserer zukünftigen Energieprobleme. Vielmehr werden hier Personen angesprochen, die sich – aus welchen Gründen auch immer – für diese historisch bedeutsame Technologie interessieren und den Selbstbau einer solchen Anlage in Erwägung ziehen. Immerhin ist der Strom aus einem Holzvergaser-Blockheizkraftwerk witterungsunabhängiger als Strom aus einem Windkonverter, ein Holzvergaser ist wartungsfreundlicher und Platz sparender als eine Biogasanlage und erheblich preisgünstiger als eine Photovoltaikanlage.

Im ersten Teil dieses Themenheftes werden die Bedingungen für den Betrieb von Holzvergasern in den 40er Jahren des zwanzigsten Jahrhunderts und dann Erfahrungen aus Projekten ländlicher Entwicklung in Südamerika in den 80er Jahren beschrieben.

Im zweiten Teil werden die thermochemischen Vorgänge im Holzvergaser und der technische Aufbau einer einfachen Holzvergaser-Motor-Einheit erläutert.

Viel Spaß beim Lesen!

Ulrich Graf

Teil 1: Erfahrungen mit Holzvergaser-Motorsystemen

Bioenergie und Holzvergasung

In den letzten Jahren hat sich die Biomasse einen bedeutenden Anteil innerhalb der Wärmeversorgung und der Strombereitstellung aus erneuerbaren Energien erobert. Die Energiestatistiken des Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie für das Jahr 2006 belegen das deutlich: Bei der Versorgung mit Heizwärme liegt die Biomasse mit 82,5 TWh (Terawattstunden) weit vor der Solarwärme mit 3,4 TWh, und im Sektor der Stromerzeugung ist die Biomasse mit 15 TWh beteiligt, während die Photovoltaik trotz aller Fördermaßnahmen nur 2 TWh beisteuert. Die erneuerbaren Energien insgesamt decken zur Zeit knapp 6 % des Wärmebedarfs und 12 % des Strombedarfs in Deutschland sowie 4,5 % des Kraftstoffverbrauchs im Straßenverkehr.

Energie aus Biomasse soll nach dem Willen der Bundesregierung auch in Zukunft eine zunehmende Rolle in der Energieversorgung Deutschlands spielen. So soll z.B. der Anteil von Heizwärme aus erneuerbaren Energien bis 2020 auf 12 % steigen, wobei die Holzpelletheizungen den größten Beitrag liefern werden. Gefördert wird dies durch das neue EEWärmeG (Erneuerbare-Energien-Wärmegesetz). Strom aus erneuerbaren Energien wird weiterhin durch das EEG (Erneuerbare-Energien-Gesetz) gefördert, was zu einem weiteren Ausbau von Biogasanlagen führen wird. Biogas soll aber auch bis 2030 mit einem Anteil von 10 % in das Gasnetz eingespeist werden, und Biokraftstoffe sollen bis zu 20 % des Treibstoffverbrauchs abdecken.

Der grundsätzliche Vorteil der Biomassenutzung soll hier nur kurz zusammengefasst werden, da er als bekannt vorausgesetzt werden kann. Es geht dabei um das Problem der Freisetzung des Treibhausgases Kohlendioxid (CO_2), das für die allmähliche Veränderung des Weltklimas verantwortlich gemacht wird (vgl. hierzu die Berichte des IPCC, als Zusammenfassung vgl. das Themenheft „Der Treibhauseffekt“ bei www.imtreibhaus.de).

Die überwiegende Mehrzahl der Energieumwandlungsprozesse, z.B. in Kraftwerken, Produktionsprozessen und Fahrzeugen beruht auf Verbrennungsprozessen, wobei durch die Reaktion des Brennstoffs mit Sauerstoff „Verbrennungswärme“ freigesetzt wird. Den größten Anteil an dieser Reaktion hat meist der im Brennstoff enthaltene Kohlenstoff, der mit dem Sauerstoff bei der Verbrennung Kohlendioxid (CO_2) bildet. Der entscheidende Unterschied zwischen der Verbrennung von fossilen Brennstoffen (Kohle, Erdöl, Erdgas) und der von nachwachsender Biomasse ist:

Die *fossilen Brennstoffe* haben sich über hunderte Millionen Jahre aus abgelagertem Pflanzenmaterial entwickelt. Das jetzt freiwerdende Kohlendioxid vermehrt den Kohlendioxidgehalt der Atmosphäre.

Das aus *frischer Biomasse* durch Verbrennung freiwerdende Kohlendioxid wurde während der Wachstumsphase der Pflanze der Atmosphäre entnommen. Dieser Vorgang ist die Umkehrung des Verbrennungsprozesses von Biomasse, das Kohlendioxid befindet sich also in einem Kreislauf von der Luft über die Pflanze zurück in die Luft. Der Kohlendioxidgehalt der Atmosphäre wird dadurch, im Ganzen gesehen, nicht verändert. Die Verbrennung von Biomasse ist daher, in Zeiträumen von Jahrzehnten gesehen, CO_2-neutral.

Diese grundsätzliche Überlegung bildet die Basis für das Interesse an Biomasse zur Energiegewinnung in Zeiten des Klimawandels. Allerdings mehren sich in letzter Zeit Berichte über negative Auswirkungen der Vermarktung von Bioenergie:

- Bei den technischen Verfahren zur Anpflanzung, Düngung, Ernte und Konditionierung von Biomasse werden meist fossile Treibstoffe eingesetzt, was die Energiebilanz erheblich verschlechtern kann.
- Der großflächige Anbau von Energiepflanzen, meist verbunden mit hohem Einsatz an Düngemitteln und Schädlingsbekämpfungsmitteln, ist keineswegs „umweltfreundlich" und bedroht in manchen Regionen natürliche Ressourcen wie z.B. Tropenwälder
- Die großflächige Produktion von Energiepflanzen konkurriert mit der Produktion von Lebensmitteln und führt zu Preissteigerungen bei Grundnahrungsmitteln.

Dass Bioenergie jetzt kritischer gesehen wird als noch vor wenigen Jahren, ist durchaus typisch für die erneuerbaren Energien. Auch die Nutzung von Windenergie, Wasserkraft und Solarenergie stößt an ihre Grenzen, seit sie aus dem Versuchsstadium herausgewachsen ist und relevante Größenordnungen erreicht hat. Bei aller Akzeptanz gegenüber erneuerbaren Energien regt sich Protest, wenn der Horizont von Windparks belegt ist, wenn historische Bauten von Solardächern verunstaltet werden und riesige Stauseen die Landschaft verändern. Zumindest bei der Biomasse, die ja natürlicher Bestandteil von Landschaft ist, sollte es aber eigentlich möglich sein, sie in sie in allgemein akzeptierte Konzepte von Land- und Forstwirtschaft zu integrieren. Warum ist das so aus dem Ruder gelaufen?

Das Dilemma ist, dass die erneuerbaren Energien nur mit Hilfe staatlicher Förderung mit den preisgünstigen fossilen Energieträgern konkurrieren können (solange es noch fossile Energieträger gibt). Diese Förderung kann, wenn sie nicht laufend den aktuellen Erkenntnissen angepasst wird, zu Fehlentwicklungen führen. Es entwickelt sich nämlich vor allem diejenige Technologie, die den größten Gewinn verspricht. So wird der Landwirt lieber Hochertragsmais oder Getreide für die Biogasanlage produzieren, wenn ihm der Verkauf von Strom und Wärme ein höheres Einkommen bringt als der von Lebensmitteln. Aus dem gleichen Grund werden Projekte zur nachhaltigen Nutzung tropischen Regenwaldes zu Nichte gemacht durch Brandrodung und Anpflanzung von Palmölplantagen für Biodiesel. Steuerliche Anreize und Gesetze haben solche Fehlentwicklungen gefördert, können sie aber auch wieder umlenken. Das Erneuerbare-Energien-Gesetz kann daher nicht für alle Zeiten unverändert bestehen, sondern muss ständig neu justiert werden. Ergänzend dazu sind die internationalen Klimakonferenzen der Ort, an dem internationale Vereinbarungen für eine nachhaltige, umwelt- und menschenverträgliche Energieversorgung getroffen werden könnten.

Die Vielzahl von Verfahren zur Energiegewinnung aus Biomasse beruht also nicht nur auf verfahrenstechnischen Überlegungen, sondern auch auf wechselnden wirtschaftlichen Anreizen. Durchgesetzt haben sich vor allem Verfahren zur Gewinnung von Pflanzenöl und Biodiesel aus ölhaltigen Pflanzen (Ölpalme, Raps), die Gewinnung von Bioethanol aus Zuckerrohr, Rüben und Mais, die Gewinnung von Biogas aus Mais und Getreide sowie die Herstellung von festen Brennstoffen in Form von Hackschnitzeln und Holzpellets. Noch in der Entwicklung begriffen ist die großtechnische Vergasung von holzbasierter Biomasse, einerseits zur Verbesserung des Wirkungsgrades von Biomasse-Heizkraftwerken, andererseits mit dem Ziel der Herstellung synthetischer Treibstoffe (Benzin und Dieselöl).

In diesem Zusammenhang erweckt auch die altbekannte Technik der *Holzvergasung* wieder Interesse. Im Prinzip kann ein stationäres Blockheizkraftwerk oder auch ein Fahrzeug mit einer Holzvergaser-Motoreinheit mit holzbasierten Brennstoffen betrieben werden.

Im Folgenden wird die Technik der Holzvergasung vor dem Hintergrund praktischer Erfahrungen mit solchen Anlagen beschrieben. Es werden (im Teil 2 des Heftes) Tipps für den Selbstbau eines einfachen Gasgenerators gegeben. Kleine, dezentrale Blockheizkraftwerke auf der Basis von Gasgeneratoren wären, in Verbindung mit standardisierten Brennstoffen wie z.B. Holzpellets, nicht völlig unrealistisch. Unter wirtschaftlichen Gesichtspunkten ist es aber wahrscheinlicher, dass mittelgroße Einheiten mit etwa 5 bis 15 MW Strom und Wärme und pulverisiertem Brennstoff (Wirbelschichtvergasung) eine Nische in der dezentralen Energieversorgung ausfüllen werden.

Holzvergasung: Ein Stück deutsche Technikgeschichte

Die Technologie der Gaserzeugung aus Festbrennstoffen durch thermische Zersetzung in so genannten Gasgeneratoren wurde im 19. Jahrhundert in Deutschland vor allem zur Herstellung von Stadtgas aus Kohle eingesetzt. Stadtgas – der Vorläufer von Erdgas bei der Versorgung von Gasheizungen – ist ein Gemisch aus Kohlenmonoxid und Wasserstoff und war in Deutschland noch bis in die 1960er Jahre verbreitet. Das Prinzip der Kohlevergasung wurde Anfang des 20. Jahrhunderts auf die Holzvergasung übertragen, ohne jedoch schon für den Fahrzeugantrieb relevant zu werden. In den 1930er Jahren jedoch wurde die Entwicklung von Holzgasgeneratoren für Fahrzeuge massiv vorangetrieben. Der Grund war klar: Der Kriegsausbruch war vorhersehbar, und Deutschland würde auf Erdölimporte zur Treibstoffversorgung angewiesen sein. Zwar war die Synthese von Benzin aus Kohle mit Hilfe des Fischer-Tropsch-Verfahrens bekannt, aber es war doch absehbar, dass eine Treibstoffknappheit bevorstand und der Zivilverkehr gegenüber der Militärmaschinerie zurückstehen musste. Schon 1934 war der Fahrzeugantrieb durch Holzgasgeneratoren auf einem Entwicklungsstand angekommen, der seine Eignung als Ersatztechnologie für den Betrieb von Lastkraftwagen, Bussen und PKWs realistisch erscheinen ließ.



Abb. 1: Imbert-Gasgenerator auf restauriertem Opel Blitz (1985)

Photo: U. Graf

Nach Beginn des Krieges wurde dies konsequent durchgesetzt. Eine eigene Behörde – die Zentralstelle für Generatoren – wurde eingerichtet und erließ eine

Fülle von Verordnungen, um den Einsatz von Gasgeneratoren durchzusetzen und zu regeln. Der zuständige Reichsminister Speer erließ einen Aufruf, auf Grund dessen sich jeder Kraftfahrzeugbesitzer auf den Umbau seines Fahrzeuges auf Generatorgas einzustellen hatte, wobei Personenkraftwagen zu Anfang von dieser Verpflichtung noch ausgenommen waren. Je nach Standort und verfügbarem Festbrennstoff wurde festgelegt, ob Vergaser für Koks, Anthrazit, Braunkohle oder Holz zum Einsatz kamen, und die entsprechenden Generatoren wurden bei weitest möglicher Standardisierung in Serie produziert. Einbausätze und Zubehör mit detaillierten Anleitungen kamen in den Handel. Die Brennstoffe wurden genormt, z.B. wurde „Tankholz“ mit verbindlichen Spezifikationen, in Säcken verpackt, zu festgesetzten Preisen angeboten.

Um 1942 waren etwa 350 000 Gasgeneratorfahrzeuge in Deutschland im Einsatz. Zählt am die Fahrzeuge in England, Frankreich und Italien dazu, waren gegen Kriegsende über eine Million Gasgeneratorfahrzeuge in Europa in Betrieb. Die Mehrzahl der Fahrzeuge lief allerdings nicht mit Holz, sondern mit Kohle. Trotzdem wurden jährlich etwa 1,5 Millionen Tonnen Generatorholz (Tankholz) verbraucht. Nach Kriegsende, als allmählich wieder ausreichende Mengen an Erdölprodukten importiert werden konnten, verschwanden die Holzvergaserfahrzeuge innerhalb weniger Jahre von den Straßen.

Was können wir von der Phase der Holzvergaser in Deutschland während des Zweiten Weltkriegs lernen? Zunächst einmal, dass es im Prinzip möglich ist, mit nachwachsenden Rohstoffen wie Holz ein Verkehrssystem zu betreiben. Aber die Situation damals war eine völlig andere als heute. Die Verbreitung der Gasgenerator-Technologie erfolgte nicht nach Gesetzen von Angebot und Nachfrage, sondern wurde staatlich verordnet als Ersatztechnologie in einer Kriegssituation. Es gab keine Alternative. Die Gasgeneratorfahrzeuge erforderten wesentlich mehr Aufwand für Reinigung und Wartung und mehr Aufmerksamkeit beim Fahren als Benzinfahrzeuge und waren deshalb keineswegs beliebt. Technisch beherrscht wurden sie von erfahrenen, gut ausgebildeten Praktikern (den LKW- und Busfahrern und Landwirten), die Wartung und Reparaturen meist selbst ausführten. Unterstützt wurde diese Ersatztechnologie durch eine hervorragend organisierte Logistik einschließlich der Verteilung der immer knapper werdenden Brennstoffe über Bezugsscheine nach Art der Lebensmittelkarten.





Abb. 2 und 3: Holzkohle-Gasgenerator auf VW Pritschenwagen (Schweden 1981)

Heute macht es keinen Sinn mehr, Fahrzeuge mit Gasgeneratoren auszustatten. Es gibt eine Vielzahl von biogenen Flüssigkraftstoffen (Pflanzenöl, Biodiesel, Alkohole, synthetisches Benzin und synthetisches Dieselöl), die sich wesentlich besser für den mobilen Einsatz eignen. Auch gasförmige Brennstoffe wie Erdgas stehen in hoher Qualität zur Verfügung.

Bei stationären Motoren zur Strom- und Wärmeerzeugung, bei denen Platzbedarf und Gewicht keine Rolle spielt, ist der Einsatz von Holzvergasern dagegen durchaus interessant. Wenn man die Nutzung des nachwachsenden Energieträgers Holz ausweiten will, sind aber die relativ kleinen, mobilen Gaserzeuger der 1940er Jahre nicht mehr die beste Option, denn die individuelle Beschaffung und Zubereitung des Brennstoffs erfordert doch erheblichen Aufwand. Dagegen ist Holzvergasung eine attraktive Option für Biomasse-Blockheizkraftwerke im Bereich 5 – 15 MW, wobei Techniken wie Wirbelschichtvergasung, verbesserte Gasreinigung und Prozessautomatisierung eingesetzt werden können. Auch als Ausgangstechnologie zur Gewinnung von Synthesegas zur Herstellung von Flüssigkraftstoffen ist der Vergasungsprozess hochaktuell.

Der folgende Bericht handelt von Erfahrungen mit kleinen Holzvergasern, die im Verlauf einer gewissen Renaissance dieser Technologie in den 80er Jahren des zwanzigsten Jahrhunderts gemacht wurden. Sie bestätigen die Einschätzung, dass kleine Gasgenerator-Motor-Einheiten zur Selbstversorgung (2 – 20 kW elektrische Leistung) nur in Einzelfällen Erfolg haben werden.

Holzvergaser als angepasste Technologie – ein Projektbericht

Standortkriterien

In den 1970er Jahren, kurz nach der ersten Ölkrise, setzte vor allem in den westlichen Industrieländern eine intensive Suche nach Technologien ein, die die Abhängigkeit vom Erdöl verringern könnten. Große Hoffnungen wurden in die „Erneuerbaren Energien“ gesetzt, obwohl parallel dazu auch die Atomkraft massiv gefördert wurde. Forschung und Entwicklung auf dem Gebiet der erneuerbaren Energien wurde auch in den so genannten Entwicklungsländern relevant, denn dort drohten die befürchteten Preissteigerungen für fossile Treibstoffe die mühsamen Ansätze wirtschaftlichen Aufschwungs wieder zu Nichte zu machen. In zahlreichen, auch von Deutschland unterstützten Projekten wurden deshalb die bereits bekannten erneuerbaren Technologien – Sonne, Wind, Wasser, Biogas, und eben auch die Gasgenerator-Technologie – auf ihre Tauglichkeit für den Alltagseinsatz vor allem in entlegenen ländlichen Regionen untersucht. Im Folgenden sollen die Erfahrungen aus einigen dieser Projekte, an denen der Autor dieses Heftes als technischer Berater beteiligt war, dargestellt werden.



Abb. 4: Holzkohle-Gasgenerator mit Wasserpumpe, Motorleistung 2 kW (Guatemala 1985)

Photo: U. Graf

Zielgruppe war die Bevölkerung in Regionen, in denen eine Infrastruktur in Form von öffentlicher Elektrizitätsversorgung, Wasserversorgung, ganzjährig befahrbaren Straßenverbindungen und Tankstellen nicht gegeben und in naher Zukunft auch nicht zu erwarten war. Solche Regionen, in denen die Bevölkerung hauptsächlich als Selbstversorger von Kleinlandwirtschaft lebt und in nur sehr begrenztem Umfang Handel treiben kann, sind abseits der städtischen

Ballungszentren in allen Ländern der „Dritten Welt“ auffindbar. Eine Erhöhung der Produktivität in Landwirtschaft, Handwerk und Kleinindustrie könnte die wirtschaftliche Situation der Bevölkerung verbessern, wird aber unter anderem durch die unzureichende Energieversorgung behindert. In der weit verbreiteten Subsistenzlandwirtschaft wie auch im ländlichen Handwerk werden Antriebsmaschinen für Wasserpumpen, Getreidemühlen, Ölpressen, Tischlereimaschinen, Werkzeugmaschinen usw. benötigt - alles Geräte, die auf konventionelle Weise von einem stationären kleinen Dieselmotor von 12 – 16 kW Leistung angetrieben werden können, wobei die Leistung des Motors meist bei weitem nicht ausgeschöpft wird. Solche Motoren sind fast überall vorhanden, aber die Kosten für den notwendigen Treibstoff sind hoch und die Beschaffung ist aufwändig und ungesichert. Es fehlt eine autarke, auf lokaler Primärenergie aufbauende und mit lokalen technischen Möglichkeiten beherrschbare Energieversorgung. Hier könnten dezentrale Anlagen zur Nutzung erneuerbarer Energie eine Lösung darstellen. Ein Vorteil der Holzvergasertechnik wurde auch darin gesehen, dass die vorhandenen Motoren nur mit einer anderen Treibstoffversorgung zu ergänzen wären: Holzgas statt Flüssigkraftstoff.

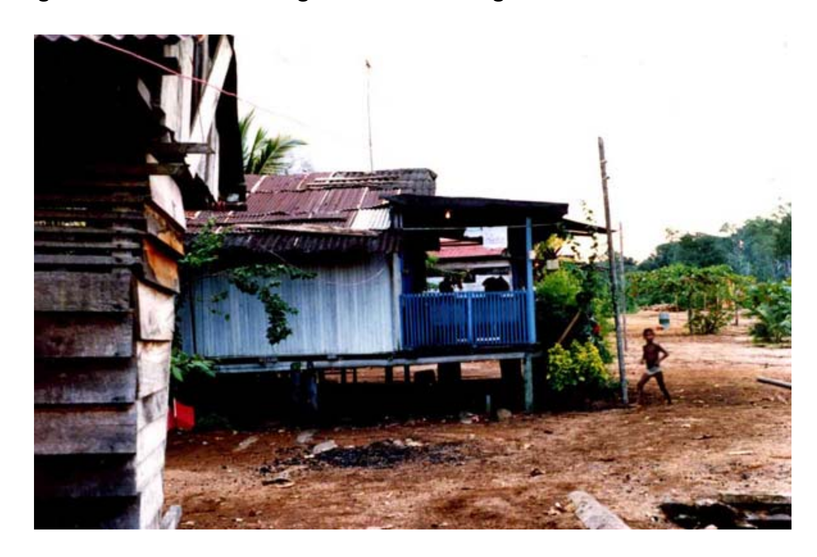


Abb. 5: Stromversorgung mit Holzkohlevergaser in einem Dorf an der Pazifikküste Kolumbiens (1990)

Photo: U. Graf

Wie alle Techniken der Nutzung erneuerbarer Energien, sind auch Holzvergaser natürlich standortabhängig. Die regionalen klimatischen und geographischen Bedingungen waren das entscheidende Auswahlkriterium für die gewählte Technik. In der Projektregion (ein dünn besiedelter, nur auf dem Wasserweg erreichbarer Küstenstreifen südlich von Buenaventura / Kolumbien) herrschen ausgeprägte feucht-tropische Bedingungen mit ganzjährig ergiebigen Regenfällen, wenig direkter Sonneneinstrahlung und unregelmäßigem Wind. Das Gefälle der Flüsse ist zu gering zum Einsatz von Kleinwasserkraft, und durch fehlende Viehzucht sind Biogasanlagen unrealistisch. Holzvergaser dagegen könnten eine standortgerechte und vor allem sehr preisgünstige Lösung darstellen.

Die mangelnde Anbindung der Projektregion an die sonst recht gute Infrastruktur des Landes legt es nahe, die Kriterien „angepasster Technologie“ anzuwenden. Das Prinzip angepasster Technologie lässt sich mit wenigen Worten so beschreiben: Ein technologischer Rückstand soll dadurch aufgeholt werden, dass eine Brücke zwischen traditioneller und moderner Technologie geschlagen wird. Die unreflektierte Übernahme von Komponenten moderner Technologie ohne die dazu notwendige materielle und personelle Infrastruktur hatte in der Vergangenheit oft verheerende Folgen für die betroffene Region (vor allem durch die Zerstörung gewachsener Arbeitsplatzstrukturen). Im Gegensatz dazu wird angepasste Technologie verstanden als eine solche, die einen vorhandenen Bedarf befriedigt, mit lokal vorhandener Qualifikation beherrschbar ist, lokale Ressourcen nutzt und eine schrittweise Entwicklung aus eigener Kraft begünstigt. Für die Projektregion wurde das folgende Konzept zu Grunde gelegt:

- Eine elektrische Leistung von etwa 3 kW wurde als ausreichend für eine Grundversorgung der meisten Dörfer angesehen. Erste Priorität sollte die Energieversorgung von Gemeindezentren mit dem Ziel verbesserter Bildungs- und Ausbildungsmöglichkeiten sein.
- Die Stromversorgung sollte durch Holzvergasereinheiten unter dörflicher Verwaltung und Verantwortung geschehen.
- Ortsansässige Techniker sollten in Betrieb und Wartung der Anlagen geschult werden und von den Nutznießern eine finanzielle oder materielle Aufwandsentschädigung erhalten.
- Der Brennstoff sollte vor Ort in ausreichenden Mengen verfügbar sein.
- Die Holzvergaseranlagen sollten in Werkstätten der nächstgelegenen Städte auf der Grundlage der Erfahrungen mit ersten Prototypen hergestellt werden.
- Nach ersten Starthilfen in Form von Know-How-Transfer, technischer Beratung und finanzieller Unterstützung sollte sich die Technologie der Holzvergasung als preisgünstige Lösung zur dezentralen Energieversorgung auf dem lokalen Markt durchsetzen.

Entwicklungsschritte des Projektes

Die Anlagen sollten eine Basis-Stromversorgung für Gemeindehäuser in kleinen Siedlungen der kolumbianischen Pazifikküste gewähren.



Abb. 6: Stromversorgung des Gemeindehauses in St. Cruz (Kolumbien) durch einen Holzkohlevergaser (1990)

Photo: U. Graf

Das Gemeindehaus stellt einen Treffpunkt für verschiedene Anlässe dar, es kann die Schule sowie einen Versammlungsraum enthalten, das Büro des Bürgermeisters und vielleicht auch einen Vorratsraum für Medikamente – das ist ganz unterschiedlich. Im Gemeindezentrum finden im Allgemeinen die Fortbildungskurse statt, in denen z.B. Kenntnisse des Lesens und Schreibens oder verbesserte landwirtschaftliche Techniken vermittelt werden. Elektrisches Licht an Stelle von Kerzen oder Petroleumlampen, aber auch vor allem Elektrizität für Radio, Fernsehen und Videoanlage erweitert die Möglichkeiten der Weiterbildung für Erwachsene in den Abendstunden erheblich und ist ein dringlicher Wunsch - natürlich wird die Möglichkeit des Fernsehens nicht nur für Weiterbildung, sondern auch für ganz banale Fernsehabende genutzt. Begrenzte Möglichkeiten für den Betrieb von Radio und Fernseher bestanden bisher nur über die Nutzung von Batterien (vor allem Autobatterien), die in den größeren Ortschaften mit Hilfe von kleinen Stromaggregaten gegen Gebühr wieder aufgeladen werden konnten.

Für die eben beschriebene Grundversorgung von Gemeindehäusern sowie zusätzlich für die Versorgung einiger Häuser mit elektrischem Licht war die elektrische Leistung von 2 - 3 kW ausreichend.

Der Brennstoff

Das Design eines Holzvergasers hängt davon ab, welcher Brennstoff verwendet werden soll: Es gibt keinen Universalvergaser für Biomasse. Brennstoffe unterscheiden sich durch ihre chemische Zusammensetzung, durch Stückgröße und Form, durch ihren Gehalt an Asche und Feuchtigkeit. Der klassische Vergaserbrennstoff für kleinere bis mittlere Anlagen ist stückiges Holz von etwa Streichholzschachtelgröße und einer Feuchte von höchstens 15 %. In der Projektregion ist Holz aus den Verarbeitungsprozessen der Sägewerke im Überfluss vorhanden (Abb.7), aber diese Holzabfälle (Endstücke, Randleisten, kurze Bretter und Kanthölzer) müssten auf die geeignete Größe zerkleinert werden, und das bedeutet einen erheblichen Arbeitsaufwand. Dazu kommt aber auch noch, dass das Holz in Folge der tropischen Umgebungsbedingungen (oft über 90% relative Luftfeuchte bei etwa 27 ^{o}C) extrem feucht ist und die einfache Lufttrocknung nicht ausreicht, um die Anforderungen an Vergaserbrennstoff zu erfüllen.



Abb. 7: Das kleine Sägewerk von St. Cruz liefert Holzabfälle im Überfluss

(Photo: U. Graf)

Die Lösung bestand darin, *Holzkohle* als Brennstoff zu wählen. Die Herstellung von Holzkohle in Meilern ist in der Region bekannt und wird in fast jeder Ortschaft zur Selbstversorgung durchgeführt. Die oben aufgezählten Holzabfälle lassen sich nach der Verkohlung problemlos in Stücke geeigneter Größe zerschlagen. Der Feuchtegehalt ist nach der Verkohlung natürlich zunächst sehr gering, nimmt aber bei längerer Lagerung in der feuchten Luft rasch zu. Auch Holzkohle muss daher vor dem eigentlichen Einsatz im Vergaser nochmals getrocknet werden, z.B. mit Hilfe der heißen Abgase des Motors.



Abb. 8: Holzkohlemeiler in St. Cruz. Vor Inbetriebnahme wird der Meiler mit feuchtem Sägemehl bedeckt.

Photo: U. Graf

Die Vorbereitung des Brennstoffes kann einen erheblichen Aufwand bedeuten, und es hat sich gezeigt, dass dies eines der entscheidenden Hemmnisse bei der Einführung kleiner Holzvergaser zur dezentralen Energiegewinnung ist. Zur Vergasung geeignete Biomassebrennstoffe sind im Prinzip im Überfluss vorhanden, aber die Aufbereitung zu Vergaserbrennstoff muss im Allgemeinen bezahlt werden.

Der Gasgenerator

Die Beschränkung auf den Brennstoff Holzkohle bringt eine erhebliche Erleichterung bei der Bauweise wie vor allem auch beim Betrieb des Holzvergasers mit sich. Das Problem der Teerbildung bei der thermischen Zersetzung des Holzes wird entschärft, weil die teerhaltigen Bestandteile bereits während der Verkohlung freigesetzt werden. Bei der Vergasung von Holzkohle findet im Idealfall nur die Reaktion des Kohlenstoffs mit Sauerstoff, Kohlenmonoxid und Kohlendioxid statt, wie im Teil 2 dieses Themenheftes beschrieben. Die Reinigung des Rohgases wird ebenfalls wesentlich einfacher, weil nur Ruß und Staub, nicht aber teerhaltige Gase und Dämpfe entfernt werden müssen.

Der erste Prototyp eines für den Betrieb mit Holzkohle optimierten Gasgenerators wurde von einer holländischen Firma geliefert und anschließend in Kolumbien auf der Basis der Betriebserfahrungen mit verschiedenen Modifikationen nachgebaut. In Abb.9 sind Einzelheiten der Konstruktion erkennbar:

- Die Luftzufuhr während der Startphase geschieht mit Hilfe eines Blasebalges oder eines handbetriebenen Gebläses. Solche Gebläse sind z.B. in Schmiedeessen zum Anfachen des Holzkohlefeuers weit verbreitet.
- Das Rohgas wird in einem Zyklon (Zentrifugalabscheider) von groben Rußpartikeln gereinigt und dann durch ein Rippenrohr gekühlt.
- Der Haupt-Filterkasten enthält Staubbeutel aus Gewebe („Tuchfilter“).
- Die Einstellung des Gas-Luft-Gemisches erfolgt mit einfachen Drehventilen.
- Der Motor ist ein luftgekühlter Einzylinder von 0,53 Liter Hubraum, der im Benzinbetrieb bei 4800 Umdrehungen 12 kW leistet. Mit Holzgas und bei niedrigeren Drehzahlen (3000 U/min.) leistet der Motor 3 kW (zu den Zusammenhängen von Heizwert, Drehzahl und Leistung vgl. Teil 2).

Abb. 9: Prototyp des Gasgenerators beim Probelauf in Buenaventura, Kolumbien. Ganz rechts das Anfachgebläse, links der Motor.

Photo: U. Graf



Technische Probleme beim Betrieb

Der Prototyp der Anlage war in Holland in ausführlichen Messreihen erprobt worden. Er arbeitete zuverlässig und drehzahlkonstant, wobei als Brennstoff handelsübliche, in Säcken abgepackte Retorten-Holzkohle der Körnung 3 – 10 cm verwendet wurde. Unter den Bedingungen der Einsatzorte in Kolumbien (küstennahe Dörfer in den Mangrovenwäldern südlich von Buenaventura) erwies sich der Betrieb der Anlage als wesentlich schwieriger. Dies lag zunächst an der hohen Feuchte der Holzkohle, die mit besonderen Maßnahmen verringert werden musste: Nach Erprobung verschiedener Trocknungsmethoden wurde schließlich als Standardmethode eingeführt, das Anfachen des Vergasers etwa eine Viertelstunde lang mit offenem Kessel zu betreiben, um die Holzkohlefüllung zu trocknen. Das verlängert die Zeit bis zum Start des Motors und bedeutet auch einen gewissen Mehrverbrauch an Brennstoff, führt aber zu besserem Lauf der Anlage. Es war auch zweckmäßig, die Füllung im Kessel beim Betrieb relativ häufig (z.B. jede Stunde) nachzufüllen, da sonst zu viel feuchter Brennstoff auf einmal zu verarbeiten wäre. Von diesen etwas lästigen zusätzlichen Maßnahmen abgesehen, lief die Vergaseranlage im ersten Jahr des Betriebes weitgehend störungsfrei und bereitete dem Bedienungspersonal keine Probleme.



Abb.10: Holzkohle-Gasgenerator im Institito Matia Mulumba (Buenaventura, Kolumbien). Links im Bild die Tonne, in der die Holzkohle durch die Motorabgase getrocknet wird.

Photo: U. Graf

Gegen Ende des ersten Jahres allerdings traten eine Reihe von Verschleißerscheinungen auf, die vom lokalen Personal nicht richtig analysiert und behoben werden konnten. Die starke Korrosion im feuchten Klima hatte zu Rost geführt, so dass sich die Schraubverbindungen zwischen Rohren und Behältern nicht mehr lösen ließen. Die Anlage ließ sich daher nicht mehr zu Wartungszwecken zerlegen. Im Inneren der Rohre setzte sich immer mehr Ruß an, so dass die Gasströmung massiv behindert wurde. Der Zyklonreiniger wurde unwirksam wegen der erhöhten Rauhigkeit im Inneren. Die Tuchfilter rissen ein und ließen Rußpartikel passieren. An den Ventilen und auf der Kolbenoberfläche im Motor bildeten sich Ablagerungen. Kurz: Die gesamte Anlage war schrottreif. Diese Entwicklung ist an und für sich nicht ungewöhnlich, sie hätte sich durch entsprechende Wartung aufhalten lassen. Es muss aber bedacht werden, dass für die Wartung eines Holzvergaser-Prototypen natürlich keine standardisierten Wartungsempfehlungen existieren und es deshalb dem technischen Einfühlungsvermögen des Bedienungspersonals überlassen blieb, rechtzeitig einzuschreiten.

In den Vergaseranlagen, die im Verlauf des Projektes in Metall verarbeitenden Werkstätten in Buenaventura und Cali hergestellt wurden, konnten eine Reihe von Verbesserungen realisiert werden, die vor allem eine geringere Korrosionsanfälligkeit und leichtere Wartung bewirkten. Die wichtigste Maßnahme

war allerdings, wie vorhergesehen, die ständige Weiterqualifizierung des Bedienungspersonals.

Ökonomische Aspekte

Zum Betrieb der Holzvergaser wurden Fachkräfte aus den jeweiligen Dörfern ausgebildet. Dies waren im Allgemeinen junge Männer mit einer gewissen technischen Vorbildung, z.B. durch Erfahrungen mit Außenbordmotoren für Fischerboote. Diese jungen Männer waren meist aber auch in irgendeiner Form erwerbstätig. Durch ihre Tätigkeit als „Operator“ (Bedienungsmann) wurden sie in ihrer traditionellen Erwerbstätigkeit behindert, sie konnten z.B. nicht mehr ohne weiteres zum Fischen ausfahren. Der Verdienstausfall wurde durch Pauschalbeiträge der Haushalte, die von der Stromversorgung profitierten, kompensiert. Dieses Finanzierungsmodell erwies sich als störungsanfällig. Es kam vor, dass sich das Stromangebot durch zu niedrige Spannung verschlechterte oder tageweise komplett ausfiel (meist wegen mangelhafter Qualität des Brennstoffs, später aber auch wegen fehlender Wartungsarbeiten an der Anlage und durch Manipulationen an den Stromkabeln). Die Nutzer weigerten sich dann, ihre Gebühren zu zahlen. Andererseits waren manche Haushalte gelegentlich nicht in der Lage, aus den Einnahmen durch Fischfang die Stromgebühr zu zahlen – dann drohte der Operator mit der Stilllegung der Anlage.



Abb.11: Elektrische Beleuchtung im Regenwald – Luxus oder Grundbedürfnis?

Eine wesentliche Schwäche des Projektansatzes war, dass die Stromversorgung nicht kommerziell genutzt wurde. Die Verbesserung der Lebensbedingungen im Alltag der Dorfbewohner durch elektrisches Licht und Fernsehen wurde zwar zunächst mit Begeisterung aufgenommen, führte aber nicht zu einer kollektiven Unterstützung des Projektes. Dort, wo engagierte Kleinunternehmer den Holzvergaser einsetzten, um mit Gewinnabsicht Batterien zu laden, eine Diskothek zu betreiben oder Bier zu kühlen, wurden die Anlagen auch sorgfältig gewartet. In diesen Fällen erkannten die Betreiber aber auch schnell, dass die Beschaffung von Dieselöl oder Benzin durchaus noch möglich war und sich der Aufwand für den Holzvergaser nicht wirklich lohnte.

Resümee der Erprobung

Das Resümee der Erprobung in der Projektregion Pazifikküste war: Obwohl die kleinen Holzvergaser zunächst von den Nutzern sehr geschätzt und zumindest in den ersten Jahren mit Erfolg betrieben wurden, haben sich nicht nachhaltig durchgesetzt. Ein Hauptgrund war, dass der Preisanstieg für Flüssigtreibstoffe als Folge der Ölkrise weniger einschneidend war als befürchtet. Eine konsequente Förderung neuer Technologien durch die Regierungen fand nicht statt. In den abgelegenen Regionen war die Qualifikation der Betreiber nicht ausreichend. Nicht zuletzt aber erwies es sich als zu aufwändig, die sehr unterschiedlichen Biomasseabfälle in kleinen Anlagen erfolgreich zu vergasen. Nur Holzkohle war als Brennstoff problemlos. Die Programme zur Verbreitung kleiner Holzvergaseranlagen in Entwicklungsländern wurden Anfang der 90er Jahre eingestellt.

Hat das Konzept einer „angepassten Technologie" versagt? Waren die Holzvergaser der Situation angepasst? Das ist nicht leicht zu beantworten, denn es spielen sehr viele Aspekte eine Rolle.



Abb.12: Versuch der Kommerzialisierung: Holzkohlevergaser zum Antrieb einer Maismühle (Guatemala 1986)

Photo: U. Graf

Ein Schlüsselbegriff bei Entwicklungsprojekten dieser Art ist die „Beherrschbarkeit" von Technik. Da die Bevölkerung in den ländlichen Regionen der Entwicklungsländer weitgehend auf sich gestellt ist und nur sporadisch Unterstützung von außen (durch staatliche oder nichtstaatliche Institutionen oder Entwicklungshilfe) erwarten kann, muss die verwendete Technik zuverlässig funktionieren und, falls sie doch versagt, mit lokal vorhandenem Wissen und Material reparierbar sein. Dies führt leicht dazu, dass man der Technik eine „didaktische Funktion" zuschreibt: Sie soll so einfach und übersichtlich aufgebaut sein, dass sie vom Nutzer durchschaubar und damit auch reparierbar ist. Der Nutzer soll mit der Technik lernen. Hierbei wird aber leicht übersehen, dass der Nutzer meist gar nicht interessiert ist, durch Versuch und Irrtum beim Betrieb einer Maschine technische Kenntnisse zu erwerben. Das Einzige, was ihn interessiert, ist die technische Dienstleistung der Maschine: Er will z.B. Licht in seinem Haus oder Strom für sein Fernsehgerät oder einen Antrieb für seine Kreissäge. Am liebsten hätte er eine Steckdose, an der er alle Geräte problemlos anschließen kann. Und er weiß auch, dass die Bewohner der Städte Strom aus der Steckdose bekommen und sich nicht darum kümmern müssen, wie dieser Strom erzeugt wird. Aus der Sicht des Nutzers ist daher eine Technologie, die ihm Arbeit und ständige Aufmerksamkeit abverlangt, nur die zweitbeste Lösung – obwohl sie seiner Situation angepasst ist, denn er wird in absehbarer Zeit keinen Strom aus der Steckdose erhalten.

Das Akzeptanzproblem „angepasster Technologie" hängt auch damit zusammen, dass sie meist nicht von den Betroffenen selbst entwickelt wird, sondern „von außen" kommt – meist in Form so genannter Entwicklungshilfe. Für die Zielgruppe

ist dann nicht nachvollziehbar, warum sie eine Technik benutzen soll, die hinter dem technischen Stand der Geberländer zurückfällt. Nicht ganz zu Unrecht will die Zielgruppe nicht einsehen, dass Technologie zur optimalen Befriedigung der Bedürfnisse auch marginalisierter Bevölkerungsschichten zwar wünschenswert wäre, aber kaum realisierbar ist. Angepasste Technologie ist immer ein Kompromiss zwischen dem technisch Möglichen und dem standortspezifisch und ökonomisch Machbaren.

Auch eine weitgehend wartungsfreie Photovoltaikanlage zur Stromversorgung kann durchaus „angepasst“ sein, z.B. bei einem Solar Home System. Wenn jedoch, wie im hier beschriebenen Projekt, einige kW elektrischer Leistung verlangt werden, sind die Kosten einer entsprechend großen Solaranlage jenseits jeder Realisierungsmöglichkeit (abgesehen von den ungünstigen Einstrahlungsdaten am Einsatzort). Hier stellt ein Holzvergaser eine angepasste Lösung dar, die in technischer Hinsicht die Leistungsanforderungen erfüllt, von den Kosten her erschwinglich ist und von der technischen Komplexität her beherrschbar erscheint. Dennoch waren die Betreiber an der kolumbianischen Pazifikküste nicht sehr motiviert, sich für den langfristigen Betrieb und die Reparatur der Anlagen zu engagieren. Sobald sich herausstellte, dass ein Fass Dieselöl doch zu noch akzeptablem Preis von einem Schiff zum Dorf geliefert werden konnte, kehrten sie zur konventionellen Technologie des Dieselmotors zurück.

Etwas anders war die Situation in einem Projekt in Argentinien Anfang der 90erJahre, das hier nur kurz erwähnt werden soll. Von einer nichtstaatlichen Organisation war ausdrücklich um Unterstützung bei der Entwicklung von Holzvergasern zur Energieversorgung kleiner Sägewerke in der holzreichen Region der Provinz Chaco gebeten worden. Die geforderte Leistung zum Antrieb der Holzmaschinen war etwa 20 kW. Hier wurde eine völlig andere Bauweise (Behälter aus Ferrozement, vgl. Abb. 13 und 14) erprobt, die mit einfachen Handwerkzeugen zu sehr geringen Kosten realisierbar war. Das Projekt war zunächst sehr erfolgreich: Die Energiekosten waren erheblich geringer als die Kosten konventionellen Stroms, und zudem war die Selbstversorgung mit Energie zuverlässiger als der Netzstrom, der in den ländlichen Regionen Argentiniens durch Vernachlässigung oft ausfällt. Die Holzvergaser in Ferrozementbauweise stellten technisch ein perfektes Beispiel für angepasste Technologie zur dezentralen Stromversorgung dar. Nach einigen Jahren wurde dieser Ansatz aber – wohl als Folge verbesserter Versorgungsbedingungen mit Netzstrom – nicht mehr weiter verfolgt.

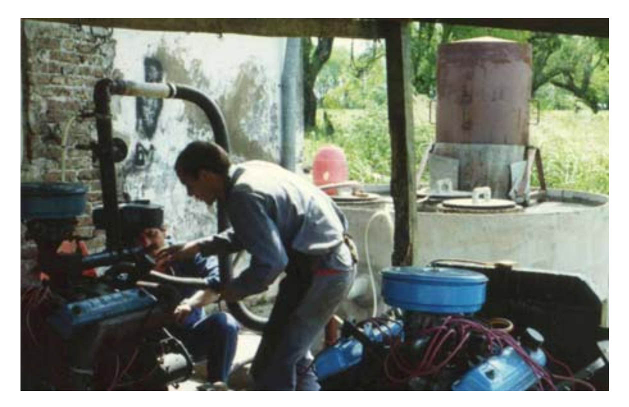




Abb.13 und 14: Gewerbliche Nutzung eines Holzvergasers in Ferrozement-Bauweise zum Antrieb des Motors einer Sägemühle, Leistung 20 kW (Argentinien 1992)

Photo: U. Graf

Teil 2: Details und Anleitungen zum Selbstbau

Der Kohlenstoffkreislauf bei pflanzlichen Brennstoffen

Die Wärmefreisetzung bei allen traditionellen Verbrennungsprozessen beruht auf der Reaktion des Brennstoffs mit Sauerstoff, wobei „Verbrennungswärme“ freigesetzt wird. Den größten Anteil an dieser exothermen (Wärme frei setzenden) Reaktion hat meist der im Brennstoff enthaltene Kohlenstoff. Bei reiner Kohle sieht die Verbrennungsformel so aus:

$C + O_2 \rightarrow CO_2 + \text{Wärme}$

Bei der Verbrennung von Methan (Erdgas, Biogas) entsteht nicht nur CO_2, sondern auch Wasserdampf:

$CH_4 + 2\,O_2 \rightarrow CO_2 + 2\,H_2O + \text{Wärme}$

Die Verbrennung von Holz oder anderem Pflanzenmaterial lässt sich vereinfacht als die Verbrennung des Grundbausteins Zucker darstellen:

$C_6H_{12}O_6 + 6\,O_2 \rightarrow 6\,CO_2 + 6\,H_2O + \text{Wärme}$

Der entscheidende Unterschied zwischen der Verbrennung von fossilen Brennstoffen (Kohle, Erdöl, Erdgas) und der von nachwachsender Biomasse ist:

Die fossilen Brennstoffe haben sich über hunderte Millionen Jahre aus abgelagertem Pflanzenmaterial entwickelt. Das jetzt freiwerdende Kohlendioxid vermehrt den Kohlendioxidgehalt der Atmosphäre.

Das aus gewachsener Biomasse durch Verbrennung freiwerdende Kohlendioxid wurde während der Wachstumsphase der Pflanze der Atmosphäre entnommen:

$6\,CO_2 + 6\,H_2O + \text{Energie} \rightarrow C_6H_{12}O_6 + 6\,O_2$

Die Pflanze nimmt über die grünen Blätter CO_2 aus der Luft auf. Über die Wurzeln wird Wasser aus dem Boden zugeführt. Unter Mitwirkung der Sonnenenergie und des Chlorophylls in den Blättern entsteht daraus Zucker als Ausgangsmaterial für Zellulose sowie, gewissermaßen als Nebenprodukt, Sauerstoff. Dieser Vorgang ist die Umkehrung des oben beschriebenen Verbrennungsprozesses von Biomasse, das Kohlendioxid befindet sich also in einem Kreislauf von der Luft über die Pflanze zurück in die Luft. Der Kohlendioxidgehalt der Atmosphäre wird dadurch, im Ganzen gesehen, nicht verändert. Diese Vorgänge bilden die Basis für das Interesse an Biomasse zur Energiegewinnung in Zeiten des Klimawandels.

Die Thermische Umwandlung von Holz: Verkohlen und Verbrennen

Das Verbrennen von Holz in einem Lagerfeuer oder Kaminofen ist ein faszinierender Vorgang, auch wenn man das Feuer völlig unmystisch nur als Verbrennungsvorgang betrachtet. Chemische Formeln und Begriffe werden anschaulich, wenn man sie auf so eindrucksvolle Weise beobachten kann wie beim offenen Feuer.

Ein großes Stück Brennholz zu entzünden, ist gar nicht so einfach – die Fähigkeiten der Menschen der Frühzeit, ein Feuer zu entzünden und zu erhalten, waren

bahnbrechend für die weitere Entwicklung. Holz, wie auch jeder andere Brennstoff, entzündet sich erst, wenn eine bestimmte Zündtemperatur erreicht ist. Sie liegt bei Holz etwa bei 250 - 300 Grad Celsius. Diese Temperatur erreicht man ohne weiteres in einer kleinen Flamme: Feuer macht Feuer. Diese kleine Flamme liefert uns heute ein Streichholz oder ein Feuerzeug. In beiden Fällen entsteht die „erste Hitze“ durch Reibung: beim Streichholz entzündet die Reibungshitze ein Gemisch aus Phosphor und Kaliumchlorat, das dann in Flammen aufgeht. Beim klassischen Feuerzeug verursacht die Reibung eines Rädchens am Feuerstein einen Funken, der das vorbeiströmende Gas entzündet. Der Mensch der Steinzeit erzeugte Reibungshitze durch ausdauerndes Drehen eines Hartholzstockes auf Weichholz, bis sich beigelegtes trockenes Moos entzündete.

Ein offenes Feuer oder ein Kaminfeuer entzündet man auch heute noch, indem man zunächst leichter entzündliches Material wie Papier oder Spanholz anzündet. Beobachten wir nun, was mit dem eigentlichen Feuerholz passiert.

Durch das brennende Kleinmaterial wird das Holzstück zunächst erwärmt. Feuerholz sollte immer schon vorgetrocknet (lufttrocken) sein und nicht frisch geschlagen. Frisches Holz kann ohne Weiteres zur Hälfte aus Wasser bestehen, das beim Trocknen an der Luft zunächst relativ schnell, dann aber immer langsamer entweicht. Eine Restmenge an Wasser – meist 15 bis 20% des reinen Holzgewichtes – wird aber immer noch als „Feuchte“ im Holz enthalten sein. Dieses Wasser verdampft, wenn das Holz erhitzt wird. Der Dampf wird als weißlicher Qualm sichtbar, der umso stärker ist, je mehr Feuchte im Holz ist. Wenn man das Holzstück beobachtet, kann man sehen, das der Dampf zunächst an der Oberfläche freigesetzt wird, dann aber auch aus der Stirnfläche in Tröpfchenform „ausgeschwitzt“ wird. Dieser Trocknungsvorgang mit Qualmbildung dauert so lange, bis alle Feuchtigkeit verdampft ist, wobei die Temperatur über 100 Grad Celsius liegen muss, um eine vollständige Trocknung zu erreichen. Erst nach Abschluss der Trocknungsphase haben wir absolut trockenes Holz (mit den Hauptbestandteilen Zellulose, Hemizellulose und Lignin) vor uns.

Noch brennt das trockene Holzstück nicht von selber, es muss weiter erhitzt werden. Es passiert eine Zeitlang nichts sichtbar Neues, bis die Temperatur auf etwa 270 ^{o}C gestiegen ist. Dann aber setzen dramatische Veränderungen ein. Die langen und komplexen Moleküle der Holzsubstanz verlieren den Zusammenhalt und reißen auseinander. Es bildet sich eine Vielzahl von mittelgroßen und kleinen Molekülen, die aber natürlich nach wie vor aus den Grundbausteinen der Biomasse – Kohlenstoff, Wasserstoff und Sauerstoff - bestehen. Mittelgroße Moleküle verdampfen unter dem Einfluss der hohen Temperaturen und bilden einen grünlich-gelben, dicken Qualm. Dieser Qualm riecht unangenehm, ist klebrig und kondensiert an kühleren Oberflächen zu einer schwarzen Flüssigkeit – Teer oder Pech (daher der Name „pechschwarz“). Teer und Pech sind keine eindeutig definierten Substanzen, sondern sie bestehen aus eine Vielzahl von chemischen Verbindungen.

Kleinere molekulare Verbindungen, die vor allem bei weiter steigenden Temperaturen entstehen, entweichen als Gase, die im Unterschied zu den Dämpfen nicht kondensieren. Es kann sich um Essigsäure oder Ameisensäure handeln, um Kohlendioxid, Kohlenmonoxid, oder auch um Wasserstoff als leichtestes Gas. Diese Gase tragen kaum zur Qualmbildung bei.

Das klingt nun so, als müsste ein Holzfeuer auf jeden Fall ungeheuer qualmen. Das tut es aber nicht, wenn es heiß genug wird. Die Temperatur liegt dann nämlich über der Zündtemperatur der freiwerdenden Gase, und da in der Holzsubstanz ein erheblicher Anteil an Sauerstoff eingebunden ist, entzünden sich die Gase und

Dämpfe: Es bildet sich eine Flamme. Dieser Verbrennungsvorgang setzt oft sehr plötzlich ein und ist gut zu sehen, wenn man zuschaut: Man sieht zunächst die Gase entweichen und erkennt in Ansätzen die Qualmbildung, die ganz anders aussieht als der Wasserdampf beim Trocknungsprozess. Dann plötzlich bildet sich die Flamme mit der charakteristischen gelb-roten Färbung. Es ist nicht die noch vorhandene Holzsubstanz, die brennt, sondern es sind die Gase (vgl. Abb. 16).

Löscht man in diesem Zustand das Feuer mit einer feuchten Decke, so erlischt die Flamme kurzzeitig und der dicke Qualm entweicht ungehemmt. Wenn das Feuer wirklich ausgehen soll, muss man es lange und gründlich abkühlen und die Luftzufuhr fernhalten, sonst reicht die Hitze im Inneren des Holzes aus, um die Gase von neuem zu entzünden.

Wenn das Holzstück lange genug „gebrannt hat“ (genauer gesagt: wenn es lange genug bei Temperaturen von 270 bis ca. 500 °C entgast wurde), kommt die Freisetzung von Gasen zum Erliegen. Fast aller Wasserstoff und Sauerstoff und ein erheblicher Teil des Kohlenstoffs der ursprünglichen Holzsubstanz ist entwichen. Der verbleibende Kohlenstoff bildet einen Festkörper, der zunächst noch die Zellen und Jahresringe des Holzstückes erkennen lässt, aber mehr und mehr aus einer geometrisch geordneten Atomstruktur (dem Kohlenstoffgitter) besteht. Dies ist die Holzkohle. Die Holzkohle gast nur noch in sehr geringem Maße, es entsteht also keine Flamme mehr. Aber der Kohlenstoff reagiert mit dem Luftsauerstoff und verbrennt, wobei die hohe Temperatur der Verbrennung (600 bis 1000 °C) zu roter bis gelber Glut führt.

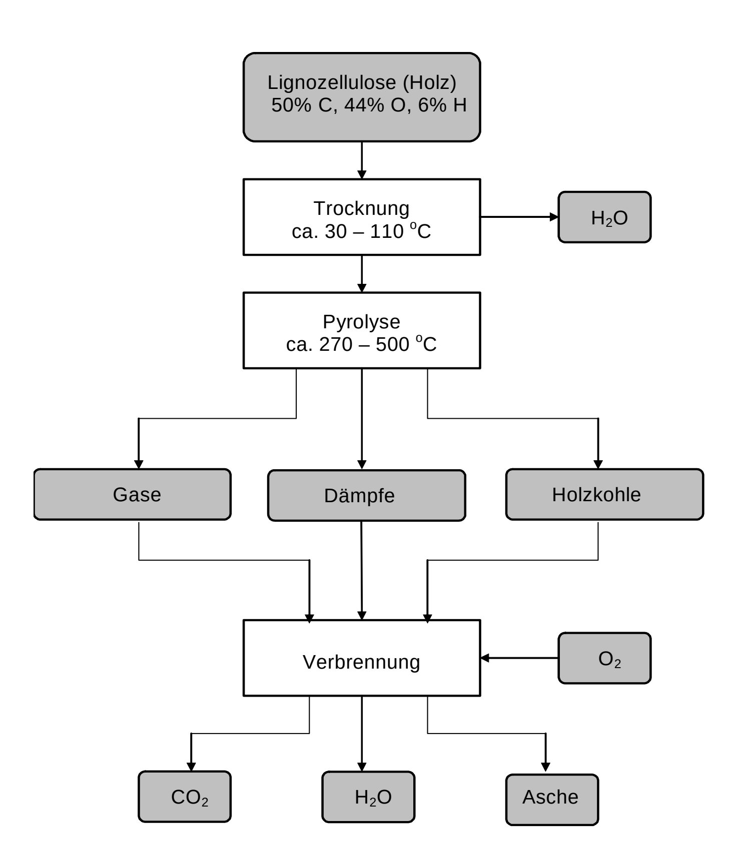


Abb. 15: Die thermische Zersetzung von Holz

Wenn auch der Kohlenstoff der Holzkohle verbrannt ist, bleibt nur noch das übrig, was auch bei 1000 °C noch nicht zu Gas verbrennen konnte. Das sind mineralische Anteile wie vor allem Silizium, und das entstehende Siliziumoxid setzt sich als Asche ab.

Alle diese Vorgänge im Feuer spielen sich nicht überall gleichzeitig ab. Wenn man die Holzstücke im Kamin genau beobachtet, kann man gleichzeitig die verschiedenen Phasen des Verbrennungsvorganges ablaufen sehen. Holzstücke am Rande des Feuers qualmen, weil sie noch nicht vollständig getrocknet sind. An den Stirnseiten größerer Stücke sieht man, wie Tröpfchen aus den inneren Jahresringen herausdampfen. Das Holz erhält Längsrisse, aus denen Gas hervortritt, das sofort Feuer fängt. An der

Oberfläche größerer Stücke bildet sich bereits Holzkohle oder Asche, während daneben noch Flammen austreten. Kleinere Stücke haben sich bereits in Holzkohle verwandelt und glühen ohne Flammenbildung.



Abb. 16: Das Holzstück wird von der Holzkohleglut getrocknet. Am hinteren Ende treten bereits Gase aus und bilden Flammen

Der Eingriff in das komplexe Geschehen bei der Holzverbrennung mit dem Ziel, bestimmte Teilprodukte heraus zu lösen, hat schon im Altertum zur Herausbildung wichtiger Handwerke geführt: Der Köhler verhindert die Verbrennung der Holzkohle, indem er die Sauerstoffzufuhr unterbindet. Der Pechner fängt die aus dem Holzkohlmeiler entweichenden Dämpfe auf und lässt sie zu Pech kondensieren. Moderne Biomasse-Brennstoffe können aus den Pyrolysedämpfen gewonnen werden. Und die leichteren Gase sind der Treibstoff des Holzvergasers.

Die chemischen Vorgänge bei der Holzvergasung

Die Vergasung von Holz ist ein thermochemischer Vorgang und unterscheidet sich dadurch wesentlich von den biochemischen Vorgängen z.B. in der Biogasanlage. Thermochemische Vorgänge laufen in der Regel erheblich schneller und intensiver ab als biochemische Vorgänge wie z.B. die Zersetzung von Biomasse durch Bakterien in der Biogasanlage oder die alkoholische Gärung von Zuckerrohr bei der Produktion von Bioethanol. Das Wesentliche bei der Entstehung von Holzgas ist, dass es sich nicht um eine Verbrennung handelt, bei der die Holzbestandteile in unbrennbares Kohlendioxid umgewandelt werden, sondern um eine Aufspaltung der Holzmoleküle in brennbare Bestandteile.

Die Abb.17 zeigt einen einfachen Holzvergaser in Querschnittzeichnung (zu technischen Details kommen wir noch). Nehmen wir zunächst zur Vereinfachung an, dass der Kessel des Holzvergasers nur mit Holzkohle gefüllt ist (also nicht mit Holz). Durch die Lufteintrittsdüse wird Luft entweder eingeblasen (durch ein Gebläse beim Start) oder eingesaugt (durch den laufenden Motor). Dort, wo der Luftstrahl der Düse die glühende Holzkohle trifft, findet die Verbrennung des Kohlenstoffs statt. Es entsteht Kohlendioxid und die Verbrennungswärme Q1:

$$C + O_2 \rightarrow CO_2 + Q1$$

Die Verbrennung findet aber nur in einem eng begrenzten Bereich – der *Oxidationszone* – statt, weil die Luftzufuhr durch die Düse eingeschränkt ist. Bei zu großer Düsenöffnung und starker Luftzufuhr würde das gesamte Holzkohlebett zwischen Düse und Rost verbrennen.

Zwischen Verbrennungszone und Rost liegt die *Reduktionszone*, in der die eigentliche Gasbildung stattfindet. Die Holzkohle in der Reduktionszone wird von dem heißen Kohlendioxid umströmt und erhitzt sich auf Temperaturen zwischen ca. 900 ^{o}C (unmittelbar unter der Verbrennungszone) bis ca. 500 ^{o}C (am Rost). Die heiße Holzkohle entreißt dem Kohlendioxid ein Sauerstoffatom (dies nennt man *Reduktion*) und bildet Kohlenmonoxid:

$C + CO_2 \rightarrow 2\,CO - Q2$

Dabei wird die Wärmemenge Q2 verbraucht. Q2 ist geringer als Q1.

Der heiße Kohlenstoff reagiert auch mit dem Wasserdampf, der immer in geringen Mengen als Feuchte in der Holzkohle vorhanden ist:

$C + H_20 \rightarrow CO + H_2 - Q3$

Auch dieser Vorgang verbraucht Wärme.
Ein Teil der entstehenden Verbindungen reagiert aber seinerseits miteinander:

$CO + H_2O \rightarrow CO_2 + H_2 + Q4$

$C + 2\,H_2 \rightarrow CH_4 + Q5$

Die beiden obigen Vorgänge sind exotherm, d.h. sie setzen Wärme frei.

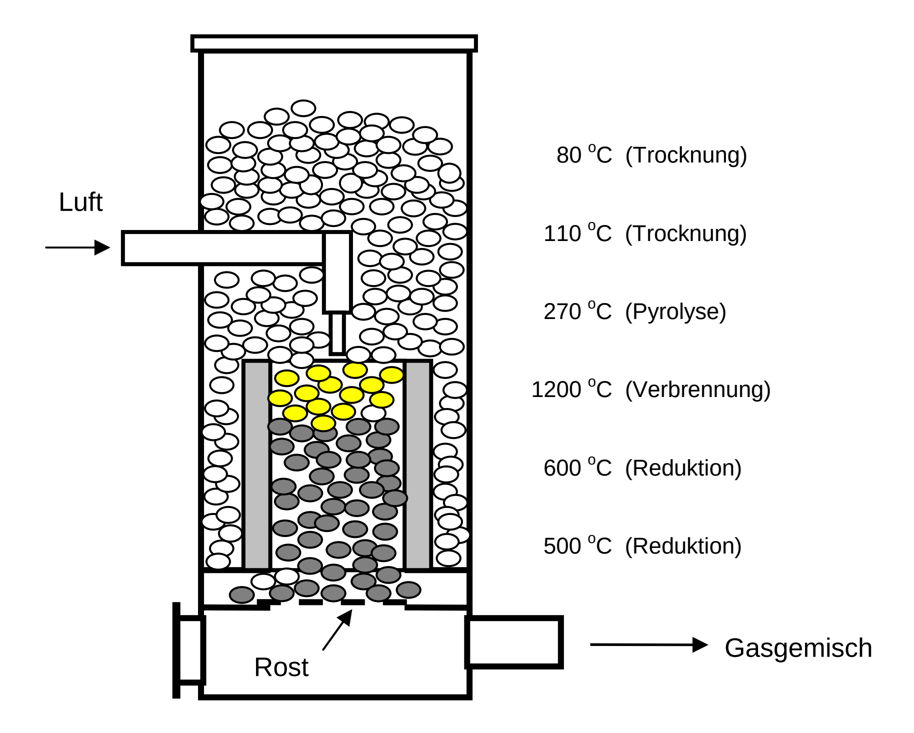


Abb. 17: Die Temperaturverteilung im Holzvergaser

Insgesamt stellt sich bei konstanter Luftzufuhr ein Gleichgewichtszustand mit einer bestimmten prozentualen Zusammensetzung der Endprodukte ein. Eine typische Mischung ist etwa die folgende: Kohlenmonoxid 22%, Wasserstoff 12%, Methan 3%, Kohlendioxid 9%, Stickstoff 54%. Dieses Gasgemisch nennt man Holzgas. Seine brennbaren Bestandteile sind vor allem Wasserstoff und Kohlenmonoxid sowie Methan. Der Heizwert ist etwa 4 bis 5,5 MJ/m^3 (1,1 bis1,5 kWh/m^3). Die Gaszusammensetzung und damit auch der Heizwert können in Abhängigkeit von den Brennstoffeigenschaften und den Vergasungsbedingungen beträchtlich schwanken.

Nun aber zur Vergasung von Holz. Entscheidend für die Entstehung von Holzgas ist, dass Temperaturen wie in einem Holzkohlemeiler (etwa 250 – 600 Grad) bestehen und keine Luft hinzutreten kann, mit der das Gas verbrennen würde. Das ist oberhalb der Luftdüse der Fall. Durch Wärmeleitung erhitzt sich die

Brennstofffüllung, so dass sie von oben her zunächst trocknet und dann pyrolytisch zersetzt wird. Wie vorher in Abb.15 (die thermische Zersetzung von Holz) dargestellt, entsteht dabei Holzkohle. Somit ist die Bedingung erfüllt, dass ab dem Niveau der Luftdüse nur noch Holzkohle vorliegen soll. Es entstehen aber auch, wie in einem Holzkohlmeiler, die Zersetzungsprodukte in Form von Teerdämpfen und Gasen. Diese Dämpfe und Gase werden, wenn alles gut geht, im Luftstrom der Düse verbrannt oder auch in Reaktion mit der heißen Holzkohle aufgespalten. Die Vergasung von Holzbrennstoffen gelingt nur, wenn der Fluss von Material und Luft genau aufeinander abgestimmt ist und die Temperaturen in der Oxidations- und Reaktionszone hoch genug sind. Dies ist bei kleinen Holzvergasern, deren kleine Reaktionszone eine geringe thermische Trägheit hat, schwierig. Deshalb wird bei den folgenden Überlegungen zum Selbstbau der Betrieb mit reiner Holzkohle vorausgesetzt.

Motor und Leistung im Gasbetrieb

Prinzipiell kann jeder Verbrennungsmotor mit Holzgas betrieben werden. Eine Einschränkung ist aber wichtig: Dieselmotoren können nur im Zweistoffbetrieb auf Gas laufen, also mit einer gewissen Menge an Dieselöl als Zündstrahl, denn das Gas hat eine höhere Zündtemperatur als Dieselöl und entzündet sich nicht schon durch die Kompression des Gemisches. Beim Benzinmotor mit Zündkerze kann das Benzin vollständig durch Holzgas ersetzt werden.

Das Gemisch von Gas und Luft (bei Holz- und Holzkohlegas etwa 1,1 Teil Luft zu 1 Teil Gas) wird vom Motor angesaugt, beim Kompressionstakt verdichtet und dadurch erhitzt. Die Gefahr des „Klopfens“ besteht bei Holzgas nicht, da der Zündpunkt hoch genug liegt. Das Gemisch wird durch die Zündkerze gezündet, wobei der Zündzeitpunk durch Verdrehen des Verteilers etwas (maximal 10 Grad) früher eingestellt werden kann. Das Gas zündet weniger aggressiv als Benzin-Luft-Gemisch, und die Verbrennung erfolgt etwas langsamer. Es hat daher keinen Sinn, eine hohe Drehzahl anzustreben. Am Besten bewährt haben sich großvolumige Motoren mit langsamer Drehzahl, z.B. 1500 – 2500 U/min.

Holzgas hat einen Heizwert von etwa 4,2 bis 5,6 MJ/m^3 (Megajoule pro Kubikmeter). Dies ist wenig, verglichen mit dem Heizwert von Biogas (19 bis 20 MJ/m^3) oder gar von Dieselöl (45 MJ/kg). Aber es muss berücksichtigt werden, dass bei der Verbrennung im Motorraum jeder Brennstoff seine spezifische Menge an Verbrennungsluft benötigt. Je höher der Heizwert, desto höher der Luftbedarf je m^3 Gas oder je kg Flüssigbrennstoff. Es kommt also auf den Heizwert des Brennstoff-Luftgemisches an, und dieser ist bei Holzgas etwa 2,4 MJ/m^3, bei Biogas 3 MJ/m^3 und bei Dieselöl 3,3 MJ/m^3. Die Unterschiede sind also nicht mehr so dramatisch. Mit einer Leistungsminderung von 30% eines Motors, verglichen mit der Leistung mit Flüssigkraftstoff, muss aber auf jeden Fall gerechnet werden. Dabei ist zu bedenken, dass die Nennleistung eines Benzin- oder Dieselmotors sich meist auf eine hohe Drehzahl von z.B. 4800 U/min. bezieht und diese Drehzahl für den Gasbetrieb zu hoch ist. Man müsste die Leistung im Gasbetrieb mit der Leistung im Benzinbetrieb natürlich bei gleicher Drehzahl vergleichen.

Um einerseits das Verhältnis von Gas zu Luft zu regeln (diese Aufgabe erledigt beim Benzinmotor der Vergaser) und andererseits die Motordrehzahl einzustellen (das wird beim Benzinmotor über die Drosselklappe im Vergaser eingestellt), braucht man eine Mischvorrichtung. Eine einfache Lösung sind Regelventile aus der Gas- und Wassertechnik in Verbindung mit T-Stücken (vgl. Abb.27). Die Ansaugluft kann man durch einen Standard-Luftfilter aus der Kraftfahrzeugtechnik reinigen. Viel

wichtiger ist allerdings die Reinigung des Holzgases, denn wenn diese nicht ausreichend ist, kann das der Luftfilter auch nicht mehr gutmachen.
Es ist natürlich wichtig, den Gasbedarf des Motors auf die Gasproduktion des Gasgenerators abzustimmen. Der Gasgenerator, der ja im Saugbetrieb arbeitet, folgt dem Gasbedarf des Motors. Wenn der Motor nach dem Starten auf die Nenndrehzahl beschleunigt, saugt er mehr Gas und Luft an, als in der Startphase. Im Gasgenerator wird dadurch mehr Luft in die Verbrennungszone gesaugt und es kann mehr Gas produziert werden. Die obere Grenze liegt da, wo so viel Luft in den Gasgenerator gesaugt wird, dass die Holzkohle in der gesamten Reduktionszone brennt – dann entsteht nur noch unbrennbares Kohlendioxid. Die untere Grenze für den Gasbedarf liegt da, wo zu wenig Luft in den Gasgenerator gesaugt wird und dadurch die Reduktionszone zu sehr abkühlt. Auch dann enthält das Gas nur noch unbrennbares Kohlendioxid. Diese Zusammenhänge machen das Fahren von Holzvergaser-Fahrzeugen unbequem: Eine Ampelphase im Leerlauf abzuwarten, führt unweigerlich zum Abkühlen oder gar Absterben des Gasgenerators. Beim stationären Betrieb z.B. zur Stromproduktion mit konstanter Drehzahl und einem entsprechendem Regelsystem verringern sich die Probleme erheblich.

Es ist also unvermeidlich, den Gas- und Luftbedarf des Motors wenigstens annähernd zu berechnen und mit der Gasproduktion des Gasgenerators anzugleichen (oder umgekehrt). Die folgende Berechnungsmethode hat sich als ausreichend genau erwiesen:

Die vom Motor angesaugte Menge an Gas und Luft ist proportional zum Zylinderinhalt (dem Hubraum) des Motors und zur Drehzahl. Durch den Strömungswiderstand in Gasgenerator und Rohren werden der/die Zylinder aber nicht vollständig gefüllt. Dies wird durch den Füllungsgrad f ausgedrückt. Ein Füllungsgrad von f = 0,75 bedeutet, dass der/die Zylinder nur zu 75 % ihres Volumens gefüllt sind. Das Volumen des pro Stunde angesaugten Gas-Luft-Gemisches ist dann

$$V_{Gemisch} = \frac{n * V_{Zyl.} * f}{2}$$

Dabei ist $V_{Gemisch}$ das Volumen des Gas-Luft-Gemisches in m^3/h (Kubikmeter pro Stunde), n die Drehzahl pro Stunde (die übliche Drehzahlangabe in U/min. muss also mit 60 multipliziert werden), $V_{Zyl.}$ der Hubraum des Motors in m^3 (die Hubraumangabe in Liter muss durch 1000 geteilt werden), und f der Füllungsgrad (hier kann 0,75 eingesetzt werden). Der Quotient 2 berücksichtigt, dass beim Viertaktmotor der Hubraum nur bei jeder zweiten Umdrehung gefüllt wird.

Ein Beispiel: Der Gemisch-Bedarf eines Viertaktmotors mit 1,2 Liter Hubraum bei der Drehzahl 3000 U/min ist

$$V_{Gemisch} = \frac{3000 * 60 * 1,2 * 0,75}{1000 * 2} = 81\ m^3/h$$

Der Gasanteil am Gemisch ist $V_{Gas} = \frac{81 * 1}{2,1} = 38,6\ m^3/h$

Nun können wir auch die Leistung des Motors abschätzen, wenn wir die Gasmenge mit dem Brennwert des Gases multiplizieren. Die thermische Leistung des Motors ist

$$P_{therm.} = 38,6\ m^3/h * 4800\ kJ/m^3 = 185300\ kJ/h = 51,5\ kW$$

(h ersetzt durch 3600 s, 1 kJ/s = 1 Watt).

Nun muss aber die thermische Leistung des Motors noch in die mechanische Leistung umgerechnet werden. Der entsprechende Wirkungsgrad kann hier näherungsweise mit 0,25 angesetzt werden. Das ergibt dann die (mechanische) Leistung des Motors im Gasbetrieb:

$$P = 0{,}25 * 51{,}5 \text{ kW} = 13 \text{ kW} \quad \text{(aufgerundet)}$$

Bei Dieselmotoren wird die Rechnung etwas aufwändiger. Dieselmotoren können nicht allein mit Holzgas betrieben werden (und auch nicht allein mit Biogas). Das Gas-Luft-Gemisch ist sehr klopffest und entzündet sich nicht von selber bei der Kompression. Es erhitzt sich aber ausreichend, um beim Einspritzen von Dieselöl dieses zu entzünden. Beim Arbeitstakt des Viertaktmotors verbrennt dann sowohl Holzgas wie auch die eingespritzte Dieselmenge, wozu natürlich auch noch ausreichend Verbrennungsluft erforderlich ist. Ein typischer Wert für den Bedarf an Dieselöl ist 25 % des Normalbedarfs ohne Beimischung von Holzgas. Die Gesamtleistung erhält man dann durch Addition der Leistungsanteile des Dieselöls und des Gases. Es genügt völlig, die Hubraum bezogene Leistung im Gasbetrieb auszurechnen und für den Zweistoffbetrieb etwa 15 % mehr anzusetzen.

Aufbau eines einfachen Holzvergasers

Die Baugruppen der Anlage

Die folgenden Tipps zum Bau eines Holzvergasers richten sich an technisch interessierte Praktiker, die aus Interesse an der Sache eine solche Anlage bauen und testen wollen. Beschrieben wird der Aufbau eines „absteigenden“ Vergasers (Gleichstromvergaser, engl. downdraft gasifier). Andere Konstruktionstypen sind der aufsteigende Vergaser (Gegenstromvergaser, updraft gasifier) und der Querstromvergaser (crossdraft gasifier).

Der Selbstbau eines Gasgenerator-Motorsystems zur Stromerzeugung in der Größenordnung von wenigen kW ist nicht sehr schwierig. Zum überwiegenden Teil können Standard-Komponenten (auch gebrauchte) genutzt werden. Was wirklich selbst hergestellt werden muss sind Behälter und Zubehör aus Eisenblech. Solche Arbeiten kann man natürlich auch von entsprechenden Handwerksbetrieben (Klempnern) machen lassen.

Die hier vorgestellte Anlage wurde mit etwa einem Duzend leicht unterschiedlichen Ausführungsformen vom Autor in Guatemala und Kolumbien, parallel dazu auch an der Universität Bremen erprobt und stellt eine einfach zu bauende und zuverlässig arbeitende Lösung dar, die unter den Gesichtspunkten „angepasster Technologie“ entwickelt wurde. Die Erfahrungen beim Einsatz dieser Technologie zur Energieversorgung ländlicher Regionen in Entwicklungs- und Schwellenländern wurden im Teil 1 dieses Heftes beschrieben.



Abb. 18: Holzkohle-Gasgeneratoranlage in Montería, Kolumbien (1990).
Von links nach rechts: Generatorkessel, Absetzbehälter, Filterbehälter, Wechselstromgenerator 3 kW, Motor.

Photo: U. Graf

Die folgenden Baugruppen werden nun beschrieben:

- Der Vergasungskessel (im Folgenden „Gasgenerator"), also der Behälter, in dem aus dem Brennstoff unter begrenzter Luftzufuhr die thermische Zersetzung des Brennstoffs zu Holzgas stattfindet.
- Die Gasreinigungsanlage, in der in mehreren Stufen das Rohgas gekühlt und gereinigt wird.
- Der Verbrennungsmotor, in dem das mit Luft gemischte Holzgas als Brennstoff zum Einsatz kommt.
- Dazu kommen noch kleinere Komponenten wie die Luftzufuhr für die Startphase, der Gas-Luft-Mischer, Rohrverbindungen und verschiedene Absperrventile. Diese Teile sind im Handel erhältlich als Bestandteile der Gas-Wasser-Installationstechnik.

Der Gasgenerator

Die Abmessungen sind in Abb.19 angegeben. Im Inneren des Behälters steht ein Zylinder aus feuerfestem Keramik-Material (Schamott) auf einer ringförmigen Blechplatte). Die Zylindermasse wird aus einem geeigneten Keramik-Pulver angerührt und in eine Blechform sorgfältig und blasenfrei eingefüllt und getrocknet. Die Abmessungen des Keramikzylinders sind wichtig, ebenso der Durchmesser der Düse: Das Luft-Einlassrohr hat 1 oder 1 ½ Zoll Durchmesser und wird mit einem Reduzierstück auf das Düsenrohr mit einem Innendurchmesser von 10 -12 mm reduziert. Dieses Düsenrohr schmilzt bei den hohen Temperaturen des Betriebes allmählich weg und muss gelegentlich erneuert werden. Alle diese Teile entstammen der Installationstechnik. Das Ausgangsrohr für das Gas (Durchmesser etwa 1 ½ Zoll) wird knapp unter dem Niveau des Rostes angebracht. Für den Rost können Eisenstangen aus Armierungsmaterial für Beton verwendet werden.
Eine dicht verschließbare Öffnung zum Entfernen der Asche ist erforderlich.

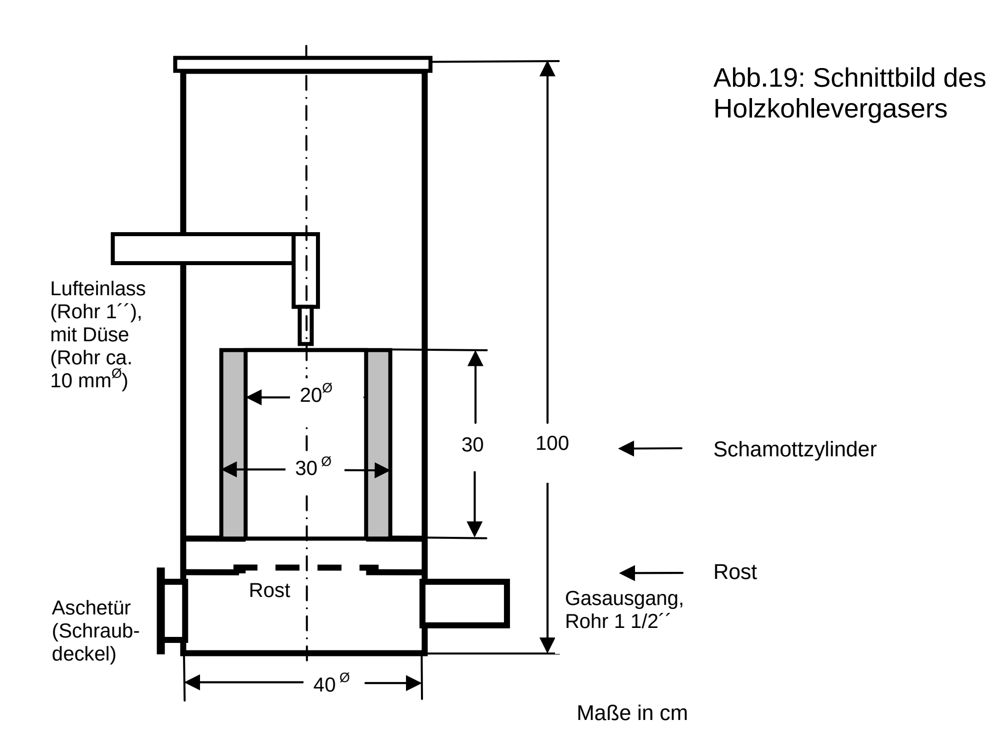


Abb.19: Schnittbild des Holzkohlevergasers

Der Gasgeneratorkessel (Abb.19) muss der Prozesshitze standhalten und deshalb eine Wandstärke von mindestens 2,5 mm haben. Das Rollen des Zylinders aus Stahlblech kann man im Allgemeinen nicht selber machen. Eine preisgünstige Lösung ist ein Zylinder mit sechs- oder 8-eckigem Querschnitt, der sich aus flachem Blech auf der Abkantbank biegen und anschließend verschweißen lässt (Abb.20 und 21).





Abb. 20 und 21: Holzkohle-Gasgenerator mit sechseckigem Generatorkessel, ca. 8 kW Motorleistung (Universität Bremen, 1992)

Photo: U. Graf

Der Verschlussdeckel des Behälters muss luftdicht abschließen (hitzefeste Dichtung aus Keramik-Band) und sollte federnd verschlossen sein, damit er bei einer Verpuffung Druck ablassen kann.



Abb. 22: Verschlussdeckel eines Generatorkessels (Cali, Kolumbien 1990)

Photo: U. Graf

Die Luftzufuhr

Die Luftzufuhr beim Startvorgang erfolgt hier durch einen handbetriebenen Ventilator, der in dieser Größe zum Betrieb von Schmiedeessen weltweit im Einsatz ist. Der Ventilator muss gegen den Strömungswiderstand der Luftdüse im Gasgenerator ein Volumen von etwa 10 m^3/s (Kubikmeter pro Sekunde) befördern. Die Luftaustrittsgeschwindigkeit an der Düse muss etwa 10 – 15 m/s betragen. Wenn dies mit einem verfügbaren handbetriebenen Ventilator nicht erreicht werden kann, bieten sich fußbetriebene Blasebälge an (Abb.24). Damit kann der erforderliche Druck problemlos aufgebaut werden.





Abb. 23 und 24: Startgebläse für Gasgeneratoren.
Linkes Bild: Das handbetriebene Gebläse einer Schmiedeesse.
Rechtes Bild: Zwei parallel geschaltete Blasebälge

Photos: U. Graf

Gasreinigung

Dem Vergaserkessel folgt die erste Reinigungsstufe. Hier wird ein Behälter verwendet, in dem Grobmaterial wie z.B. große Kieselsteine auf einem Rost liegen, unter dem sich ein Hohlraum (etwa 1/3 des Behältervolumens) befindet. Das Rohgas durchströmt den Behälter von oben nach unten, beruhigt sich infolge der Volumenzunahme und umströmt mit geringer Geschwindigkeit das Grobmaterial. Grobe Rußteilchen und Kondenswasser setzen sich ab und sammeln sich an den Oberflächen und am Boden des Behälters. In Wartungsintervallen kann dieser Kessel mit Hilfe eines Wasserschlauches gereinigt werden, dafür ist oben ein Verschlussdeckel und unten ein Wasserablass notwendig.

In einer zweiten Stufe erfolgt die Reinigung des Gases von Feinstaub. Hierzu sind Tuchfilter geeignet, durch die das Gas gesaugt wird (Prinzip Staubsaugerbeutel). Abb.25 und 26 zeigen Filtersätze mit „Filterstrümpfen“ aus Leinen- oder

Baumwollmaterial. Die Filterbehälter müssen in Wartungsintervallen gereinigt werden.





Abb. 25 und 26:
Die Filterbeutel der Gasreinigung

Photo: U. Graf

Gasmischer und Rohre

Für die Mischung des Gases mit der erforderlichen Luftmenge werden ein T-Stück und zwei Regelventile benötigt. Ein Ventil regelt die zugeführte Luftmenge, das zweite Ventil begrenzt die Menge des Gasgemisches, das vom Motor angesaugt wird (dieses zweite Ventil könnte auch mit einem Drehzahlregler verbunden werden, um die Drehzahl des Motors und damit auch die Frequenz der erzeugten Wechselstroms konstant zu halten). Für die einfache Lösung sind Kugelventile aus der Installationstechnik ausreichend, der Rohrdurchmesser sollte etwa 1 Zoll betragen. Das Lufteinlassrohr dient beim Anfachen des Gasgenerators als Auslassrohr für das Rohgas und zur Prüfung der Zündfähigkeit. Statt seitlich, wie in Abb.27, sollte der Rohrstutzen eher nach oben gerichtet sein.



Abb. 27: Einfacher Gasmischer
(Photo: U. Graf)

Wenn die Rohrdurchmesser von Gas und Luft gleich sind, sollte eine zündfähige Mischung entstehen, wenn das Gasventil ganz offen und das Luftventil halb offen ist. Sobald der Motor anspringt, kann man mit dem Luftventil den Punkt optimaler Mischung suchen. Die Motordrehzahl wird anschließend mit dem Hauptventil zwischen Mischer und Motoreingang eingestellt.

Als Rohrmaterial für das heiße Gas kann verzinktes Eisenrohr von 1 oder 1 /2 Zoll verwendet werden. Es ist empfehlenswert, die Rohrteile mit Schraubverbindungen zu verbinden anstatt sie zu schweißen, damit sie zerlegt und innen gereinigt werden können. Nach dem ersten Reinigungsbehälter haben Plastikrohre den Vorteil, dass die innen glatter sind und nicht korrodieren, denn in den Rohren setzt sich oft aggressives Kondenswasser ab. Die Verbindung zwischen Mischer und

Motoreingang muss flexibel sein (Gewebeschlauch), damit die Rohre nicht durch die Motorvibrationen in Schwingung geraten. Überhaupt muss darauf geachtet werden, dass Rohre und Behälter nicht schwingen, da sonst die Schweißverbindungen zwischen Behältern und Anschlussrohren bald einreißen.

Der Motor

Für die hier angeführten Abmessungen des Gasgenerators ist ein Viertaktmotor mit Zündkerze (kein Dieselmotor) mit einem Hubraum zwischen mindestens 0,5 und 1 Liter geeignet. Der Motor von Abb.28 ist ein 530 ccm Motor von Briggs & Stratton. Der Motor des alten Renault R4 (980 ccm) oder auch der Motor des alten VW Käfer haben sich ebenfalls bewährt, wobei kleinere Motoren mit höherer Drehzahl laufen müssen als größere. Im Zweifelsfall muss nach der Anleitung im Abschnitt „Motor und Leistung im Gasbetrieb“ die richtige Drehzahl an Hand des verfügbaren Gasvolumens ermittelt werden.



Abb.28: Der 530 ccm Einzylinder Motor wird mit Keilriemen mit dem Elektrogenerator verbunden. Rechts oben im Bild der Gas-Luft-Mischer.

Photo: U. Graf

Der Motor sollte von möglichst einfacher Bauart sein. In Wartungsintervallen kann es notwendig werden, den Zylinderkopf zu entfernen und zu überprüfen, ob Ventilsitze und Kolbenoberfläche noch in gutem Zustand sind (wenn die Tuchfilter undicht sind, können Ruß- und Ascheteilchen eindringen und sich als Belag festsetzen).

Betrieb der Anlage

Voraussetzung für einen problemlosen Betrieb ist der geeignete Brennstoff. Die hier beschriebenen Anlagen wurden ausnahmslos mit Holzkohle oder Biokohle (z.B. aus Maiskolben, Kassava-Strunken, Nussschalen usw.) betrieben und nicht mit Holz. Die Verwendung von Holz – auch bei sorgfältiger Größensortierung – führt zu erheblich höheren Anforderungen an die Einhaltung der Betriebstemperaturen im Vergaser, was bei kleinen Anlagen durch die geringere thermische Trägheit nur schwer einzuhalten ist. Ein teerfreier Betrieb ist bei kleinen Anlagen sehr schwierig und die Reinigung des Rohgases von Teer ist nur mit großem Aufwand möglich. Deshalb kommt für kleine Gasgeneratoren realistischerweise nur Holzkohle in Frage. Die hier verwendete Holzkohle wurde auf Stückgrößen von 2 – 5 cm gesiebt. In Deutschland ist geeignete Holzkohle in Stückelung 20/50 (20 bis 50 mm) erhältlich. Grillbriketts sind wegen des hohen Ascheanteils nicht brauchbar.

Vor dem Start muss der Keramikzylinder bis zur Höhe der Düse mit Holzkohle guter Qualität gefüllt sein. Nur halb verkohlte Stücke sind hier sehr schädlich, weil sie zu Begin des Anheizvorgangs Teer freisetzen würden. Der Zwischenraum zwischen Außenwand des Schamott-Zylinders und Innenwand des Behälters wird am Besten mit kleinstückiger Holzkohle gefüllt, dieser Zwischenraum dient nur der thermischen Isolierung nach außen.

Die Holzkohle muss nun wie ein Grillfeuer entzündet werden. Papier oder kleine Holzspäne werden auf die Holzkohle gelegt und angezündet. Mit vorsichtiger Luftzufuhr über Ventilator oder Blasebalg wird die Glut angefacht, bis ein stabliles Glutbett vorhanden ist. Nun kann der Tank vollständig mit Holzkohle gefüllt werden. Der Fülldeckel wird fest verschlossen, der Mischhahn für die Sekundärluft vor dem Motoreingang wird geöffnet. Durch kräftige Luftzufuhr wird die Glut im Inneren des Gasgenerators weiter verstärkt. Das Rohr für die Sekundärluft dient als Gasausgang, hier kann jetzt die Qualität des Gases beobachtet werden. Es entweicht zunächst etwas Qualm, dann wird (nach einigen Minuten) das Abgas transparenter. Nach etwa 5 Minuten sollte das Gas zumindest ansatzweise brennen, wenn ein Streichholz an den Abgasstrom gehalten wird. Rötlich-gelbe Färbung deutet auf Anteile von Kohlenwasserstoffen (Teer) hin, die in geringem Umfang aber akzeptabel sind. Bläuliche Färbung zeigt einen relativ hohen Wasserstoffgehalt an. Wenn die Flamme stabil mit bläulich-transparenter Farbe brennt, ist das Gas gut zum Starten des Motors. Die Flamme wird gelöscht (damit sie nicht in die Filterbehälter zurückschlägt), das Luftventil und auch das Drehzahlventil werden halb geschlossen. Ohne weitere Betätigung der Primärluftzufuhr wird der Motor gestartet. Wenn mehrere Startversuche misslingen, muss der Gasgenerator durch Primärluftzufuhr erneut hochgefahren werden, bis wieder genügend energiereiches Gas vorhanden ist.

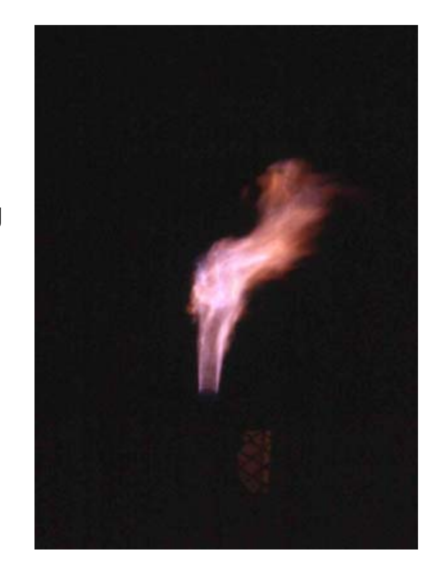


Abb.29: Gasflamme beim Anfachen des Vergasers

Photo: U. Graf

Wenn der Motor angesprungen ist, wird das Mischungsverhältnis über das Sekundärluftventil nachjustiert (es wird nach Gehör die höchste Drehzahl eingestellt), dann der Motor mit dem Drehzahlventil auf die gewünschte Drehzahl gebracht und die Last zugeschaltet. Die Drehzahleinstellungen müssen möglicherweise gelegentlich nachgeregelt werden.

Je nach Größe des Brennstoffvorrates und Gasverbrauchs reicht die Holzkohlefüllung für 2 – 4 Stunden Betrieb. Zum Nachfüllen von Holzkohle muss der Motor nicht gestoppt werden, wenn das Nachfüllen zügig gemacht wird.

Vorsicht: *Beim Öffnen des Generatordeckels nicht den Kopf über die Öffnung halten! Einige Sekunden nach dem Öffnen, wenn kalte Luft in den halbleeren Tank gesackt ist, gibt es eine heftige Verpuffung, weil sich Holzgas mit der eintretenden Luft vermischt und durch die Holzkohleglut entzündet wird. Erst, wenn diese Verpuffung vorbei ist, kann man in den Generator hineinsehen!*

Typische Betriebsdaten

Im Folgenden werden einige charakteristische Daten für den Normalbetrieb aufgeführt. Einige einfache Messgeräte zur Überprüfung solcher Daten sind zu empfehlen:



Abb.30: Pumpe mit Messröhrchen (oben) und Hitzdraht-Messinstrument

Mit *Gas-Messröhrchen* (links im Bild) lässt sich zumindest der CO_2-Gehalt des Gases messen, dies erlaubt Rückschlüsse auf die Qualität des Gases (je weniger CO_2, desto besser).

Für die Messung der Volumenströme von Primärluft und nicht entzündetem Gas hat sich ein *Hitzdrahtgerät* bewährt. Es misst die Geschwindigkeit der Strömung an einem Rohreingang oder -ausgang, womit über den Durchmesser des Rohres das Volumen bestimmt werden kann.



Abb.31: Thermoelement (oben) und Rußmessgerät (unten)

Ein Temperaturmessgerät mit *Thermoelement* ermöglicht die Messung der Temperatur am Rost, die bei etwa 500 Grad liegen sollte. Dies ist eine gute Kontrolle der Betriebstemperatur des Gasgenerators. Hierzu muss ein verschließbares Loch zum Einführen der Sonde in die Wand des Generatorbehälters gebohrt werden.

Ein einfaches *Rußmessgerät* (Luft wird mit einer Handpumpe durch ein Filterpapier gezogen) eignet sich zur Überprüfung der Funktion der Gasreinigung.

Betriebsdaten bei 3 kW elektrischer Leistung:

Motorhubraum	0,53 Liter
Motordrehzahl	2500 U/min.
Primärluftzufuhr	10 m^3/h
Sekundärluft	12 m^3/h
Gasmenge	10 – 12 m^3/h
Holzkohleverbrauch	1,3 – 1,5 kg/h

Gaszusammensetzung:

CO	23 – 33 %
H_2	4 – 14 %
CO_2	3 – 7 %
N_2	60 – 63 %

Heizwert 4100 kJ/Nm^3
(Nm^3 = Normalkubikmeter, also bezogen auf die Gastemperatur 273 K)

Ein paar häufige Gründe für Fehlfunktionen

Der Motor springt nicht an

a) der Zündfunke ist schlecht oder die Ventile arbeiten nicht richtig
b) Die Gasqualität ist unzureichend: Zu niedrige Temperaturen im Gasgenerator (Primärluftzufuhr nicht heftig genug) oder Stockung im Holzkohlefluss.

Die Gasqualität wird schlechter, die Motorleistung lässt nach:

Holzkohle rutscht nicht richtig nach, oder: Mischluft muss nachreguliert werden

Die Gasqualität ist gut, der Motor springt an, geht aber gleich wieder aus

a) Leck in der Anlage. Durch die Erschütterungen des Motors öffnet sich z.B. eine defekte Schweißnaht und lässt Fehlluft eintreten.
b) Die Gasreinigung ist verstopft und lässt nicht genügend Gas durch.

Weiterführende Literatur

F. Jantsch: Fahrzeuggeneratoren – Bau, Betrieb und Einsatz. Zentralstelle für Generatoren beim Generalbevollmächtigten für Rüstungsaufgaben. Verlag Joh. Kaspar, Berlin 1943

Werner Kroll: Der Gasgenerator. Fach- und Schulungsbuch. Verlag G. Kliemt, Nossen i.Sa., Berlin 1943

Albrecht Kaupp, John R. Goss: Small Scale Gas Producer Engine Systems. GATE-Publikation, Vieweg 1984, ISBN 3-528-02001-6

U.Graf, A. Kölling, H. Motschiedler, W. Richter, J. Wichert, A. Wittkowski: Entwicklung, Bau und Erprobung einer standardisierten Holzkohle-Gaserzeugungsanlage zum Betrieb von Gasmotoren von mit 2 – 10 kW mechanischer Leistung. Abschlussbericht BMFT Forschungsprojekt Nr. 0326583 A, Bremen 1992

Ulrich Graf: Low Cost Charcoal Gasifiers for Rural Energy Supply. GATE-Publiktion, Vieweg 1994, ISBN 3-528-02076-8

Diese Literatur ist allerdings nicht leicht erhältlich. Technische Bibliotheken wie z.B. die des Technischen Museums in München führen noch die Klassiker der Literatur zu Holzvergasern.

Im Internet finden sich zahlreiche Einträge zum aktuellen Stand der Technik.

Über den Autor



Ulrich Graf studierte Elektrotechnik/Nachrichtentechnik an der Technischen Universität München und promovierte dort zum Dr.-Ingenieur. Nach einigen Jahren als Fachautor in einem naturwissenschaftlichen Verlag und der Mitarbeit an der Studiengruppe für Biologie und Umwelt (Frederic Vester) ging er 1972 als Assistenzprofessor an die neu gegründete Universität Bremen.

Ab 1980 arbeitete er als Gutachter für die Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ) in Projekten der Entwicklungshilfe mit den Schwerpunkten ländliche Energieversorgung, erneuerbare Energien und angepasste Technologie.

Seit 1996 ist er wieder an der Universität Bremen im Studiengang Wirtschaft-Arbeit-Technik tätig. Gemeinsam mit Helmut Spitzley, Volker Koch und Heinz-Dieter Schulz entstand das „Modulare Schulinformationssystem Energie“ mit den Bänden „Der Treibhauseffekt“, „Woher kommt unsere Energie“, „Energie sparen im Haushalt“ und „Die Energiesparschule“ (vgl. www.energie-umwelt-schule.de).

Die Web-Seite www.imtreibhaus.de entstand im Zusammenhang mit der Lehrtätigkeit an der Universität Bremen und wird laufend nach den aktuellen Anforderungen ausgebaut.